

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re the Application of

Inventors: Tatau NISHINAGA
Application No.: New Patent Application
Filed: February 23, 2000
For: A METHOD FOR FORMING A SINGLE
CRYSTALLINE FILM



CLAIM FOR PRIORITY

Assistant Commissioner of Patents
Washington, D.C. 20231

Sir:

The benefit of the filing date of the following prior foreign application filed in the following foreign country is hereby requested for the above-identified application and the priority provided in 35 USC 119 is hereby claimed:

Japanese Appln. No. 11-052376, Filed March 1, 1999

In support of this claim, a certified copy of said original foreign application is filed herewith.

It is requested that the file of this application be marked to indicate that the requirements of 35 USC 119 have been fulfilled and that the Patent and Trademark Office kindly acknowledge receipt of this document.

Respectfully submitted,

A handwritten signature in black ink, appearing to read "James E. Ledbetter".

James E. Ledbetter
Registration No. 28,732

Date: February 23, 2000

JEL/lmq
Attorney Docket No. JEL 31015
STEVENS DAVIS, MILLER & MOSHER, L.L.P.
1615 L Street, NW, SUITE 850
P.O. BOX 34387
Washington, DC 20043-4387
Telephone: (202) 408-5100 Facsimile: (202) 408-5200

PATENT OFFICE
JAPANESE GOVERNMENT

This is to certify that the annexed is a true copy
of the following application as filed with this Office.

Date of Application : March 1, 1999

JC678 U.S. PRO
09/511912
02/23/00

Application Number : Japanese Patent Application
No. 11-052376

Applicant(s) : President of THE UNIVERSITY OF TOKYO

Certified on October 1, 1999

Commissioner,
Patent Office

Takahiko KONDO (Sealed)

Certification No. 11-3065996

日 本 国 特 許 庁
PATENT OFFICE
JAPANESE GOVERNMENT

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日
Date of Application:

1 9 9 9 年 3 月 1 日

出 願 番 号
Application Number:

平成 1 1 年特許願第 0 5 2 3 7 6 号

出 願 人
Applicant (s):

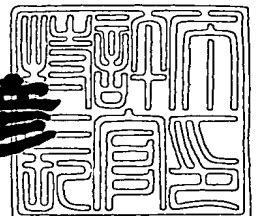
東京大学長



1 9 9 9 年 1 0 月 1 日

特 許 庁 長 官
Commissioner,
Patent Office

近 藤 隆 彦



出証番号 出証特平 1 1 - 3 0 6 5 9 9 6

【書類名】 特許願

【整理番号】 F1999-084

【提出日】 平成11年 3月 1日

【あて先】 特許庁長官 伊佐山 建志 殿

【国際特許分類】 C30B 23/00

【発明の名称】 単結晶薄膜の形成方法

【請求項の数】 16

【発明者】

 【住所又は居所】 千葉県柏市南逆井 4 - 1 1 - 4

 【氏名】 西永 頌

【特許出願人】

 【識別番号】 391012327

 【氏名又は名称】 東京大学長 蓮實 重彦

【代理人】

 【識別番号】 100059258

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 杉村 暁秀

【選任した代理人】

 【識別番号】 100072051

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 杉村 興作

【選任した代理人】

 【識別番号】 100098383

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 杉村 純子

【選任した代理人】

 【識別番号】 100101096

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 徳永 博

【選任した代理人】

【識別番号】 100100125

【弁理士】

【氏名又は名称】 高見 和明

【選任した代理人】

【識別番号】 100073313

【弁理士】

【氏名又は名称】 梅本 政夫

【選任した代理人】

【識別番号】 100097504

【弁理士】

【氏名又は名称】 青木 純雄

【選任した代理人】

【識別番号】 100102886

【弁理士】

【氏名又は名称】 中谷 光夫

【選任した代理人】

【識別番号】 100107227

【弁理士】

【氏名又は名称】 藤谷 史朗

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9709970

【ブルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 単結晶薄膜の形成方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 単結晶基板上に非晶質薄膜を形成するとともに、前記非晶質薄膜に開口部を形成して前記単結晶基板表面の一部を露出させ、減圧下において原子ビーム又は分子ビームを前記単結晶基板表面に対して 40° 以下の入射角度で入射させ、前記露出した単結晶基板表面上に単結晶薄膜を選択的にエピタキシャル成長させることを特徴とする、単結晶薄膜の形成方法。

【請求項 2】 前記原子ビーム又は分子ビームの前記単結晶基板表面への入射角度が 25° 以下であることを特徴とする、請求項 1 に記載の単結晶薄膜の形成方法。

【請求項 3】 周期律表第 V 族の原子ビーム又は周期律表第 V 族の元素を含んでなる分子ビームを、前記単結晶基板の表面に対して 40° 以下の入射角度で入射させ、周期律表第 III 族の原子ビーム又は周期律表第 III 族の元素を含んでなる分子ビームを、前記単結晶基板の表面に対して任意の入射角度で入射させることにより、前記露出した単結晶基板表面上に III - V 族化合物半導体からなる単結晶薄膜を選択的にエピタキシャル成長させることを特徴とする、請求項 1 に記載の単結晶薄膜の形成方法。

【請求項 4】 前記周期律表第 V 族の原子ビーム又は前記周期律表第 V 族の元素を含んでなる分子ビームの前記単結晶基板表面への入射角度が、 25° 以下であることを特徴とする、請求項 3 に記載の単結晶薄膜の形成方法。

【請求項 5】 周期律表第 III 族の原子ビーム又は周期律表第 III 族の元素を含んでなる分子ビームを、前記単結晶基板の表面に対して 40° 以下の入射角度で入射させ、周期律表第 V 族の原子ビーム又は周期律表第 V 族の元素を含んでなる分子ビームを、前記単結晶基板の表面に対して任意の入射角度で入射させることにより、前記露出した単結晶基板表面上に III - V 族化合物半導体からなる単結晶薄膜を選択的にエピタキシャル成長させることを特徴とする、請求項 1 に記載の単結晶薄膜の形成方法。

【請求項 6】 前記周期律表第 III 族の原子ビーム又は前記周期律表第 III 族の

元素を含んでなる分子ビームの前記単結晶基板表面への入射角度が、 25° 以下であることを特徴とする、請求項 5 に記載の単結晶薄膜の形成方法。

【請求項 7】 周期律表第 VI 族の原子ビーム、又は周期律表第 VI 族の元素を含んでなる分子ビームを、前記単結晶基板表面に対して 40° 以下の入射角度で入射させ、周期律表第 II 族の原子ビーム又は周期律表第 II 族の元素を含んでなる分子ビームを、前記単結晶基板表面に対して任意の入射角度で入射させることにより、前記露出した単結晶基板上に II-VI 族化合物半導体からなる単結晶薄膜を選択的にエピタキシャル成長させることを特徴とする、請求項 1 に記載の単結晶薄膜の形成方法。

【請求項 8】 前記周期律表第 VI 族の原子ビーム又は前記周期律表第 VI 族の元素を含んでなる分子ビームの前記単結晶基板表面への入射角度が、 25° 以下であることを特徴とする、請求項 7 に記載の単結晶薄膜の形成方法。

【請求項 9】 周期律表第 II 族の原子ビーム、又は周期律表第 II 族の元素を含んでなる分子ビームを、前記単結晶基板表面に対して 40° 以下の入射角度で入射させ、周期律表第 VI 族の原子ビーム又は周期律表第 VI 族の元素を含んでなる分子ビームを、前記単結晶基板表面に対して任意の入射角度で入射させることにより、前記露出した単結晶基板上に II-VI 族化合物半導体からなる単結晶薄膜を選択的にエピタキシャル成長させることを特徴とする、請求項 1 に記載の単結晶薄膜の形成方法。

【請求項 10】 前記周期律表第 II 族の原子ビーム、又は前記周期律表第 II 族の元素を含んでなる分子ビームの前記単結晶基板表面への入射角度が、 25° 以下であることを特徴とする、請求項 9 に記載の単結晶薄膜の形成方法。

【請求項 11】 前記開口部は線状であって、その幅が $0.001 \sim 10 \mu\text{m}$ であることを特徴とする請求項 1 ～ 10 のいずれか一に記載の単結晶薄膜の形成方法。

【請求項 12】 前記非晶質薄膜は、絶縁物又は高融点金属からなることを特徴とする、請求項 1 ～ 11 のいずれか一に記載の単結晶薄膜の形成方法。

【請求項 13】 前記露出した単結晶基板表面上に選択的にエピタキシャル成長させて形成した単結晶薄膜を種として、前記非晶質薄膜上に単結晶薄膜を横方向

にエピタキシャル成長させて形成することを特徴とする、請求項 1～1 2 のいずれか一に記載の単結晶薄膜の形成方法。

【請求項 1 4】 前記非晶質薄膜上に形成された単結晶薄膜の転位密度が、 10^4 個/ cm^2 以下であることを特徴とする、請求項 1 3 に記載の単結晶薄膜の形成方法。

【請求項 1 5】 前記単結晶基板と前記単結晶薄膜との格子定数が異なることを特徴とする請求項 1 4 に記載の単結晶薄膜の形成方法。

【請求項 1 6】 前記単結晶基板と前記単結晶薄膜との格子定数差が 0. 1～3 0 %であることを特徴とする、請求項 1 5 に記載の単結晶薄膜の形成方法。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】

本発明は単結晶薄膜の形成方法に関し、さらに詳しくは、電子デバイス、光デバイス、集積回路、及び光・電子集積デバイスなどに好適に用いることのできる単結晶薄膜の形成方法に関する。

【0 0 0 2】

【従来の技術】

単結晶基板上に単結晶薄膜を形成する技術は、集積回路や電子素子、及び光素子などに現在多く用いられている。この単結晶薄膜は、単結晶基板上に分子線エピタキシー法などによってエピタキシャル成長させることによって形成する。

しかしながら、単結晶基板と単結晶薄膜との格子定数差や単結晶基板自体が有する転位に基づいて、単結晶基板上にエピタキシャル成長させた単結晶薄膜中には多数の転位が取り込まれる場合があった。このような転位は、素子寿命の劣化や素子特性の不均一性の原因となるため、できるだけ少ないことが好ましい。

【0 0 0 3】

本発明者は、かかる問題を解決すべく、特公平 1－1 6 1 8 2 2 号公報や特公平 6－1 0 5 7 9 7 号公報において、いわゆるマイクロチャネルエピタキシー技術を開示している。

この技術は、単結晶基板上に絶縁性の非晶質薄膜を堆積するとともに、この非

晶質薄膜に線状の開口部を形成し、この開口部中に単結晶薄膜を選択的にエピタキシャル成長させるものである。そして、形成された単結晶薄膜によって開口部が埋め込まれた後は、この部分に形成された単結晶薄膜を種として横方向にエピタキシャル成長させ、前記非晶質薄膜上に単結晶薄膜を形成するものである。

単結晶基板に起因して発生した転位は横方向には伝搬しないため、前記非晶質薄膜上には極めて転位の少ない単結晶薄膜を形成することができる。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、上記方法は液相エピタキシャル法を用いるために、大型の基板上に均一な薄膜を成長させることは困難であった。したがって、実際の半導体工業の現場で用いることができ、上述したような集積回路などの実用に供することができる単結晶薄膜の形成方法としては不十分であった。このため、均一性及び制御性に優れた分子線エピタキシャル法や有機金属気相エピタキシー、ハライド原料エピタキシーなどの気相成長によって、マイクロチャネルエピタキシーを可能にする技術の出現が望まれていた。

【0005】

本発明は、気相成長法を用いたマイクロチャネルエピタキシー技術によって、単結晶基板上に単結晶薄膜を形成する新たな方法を提供することを目的とする。

【0006】

【課題を解決するための手段】

本発明は、

単結晶基板上に非晶質薄膜を形成するとともに、前記非晶質薄膜に開口部を形成して前記単結晶基板表面の一部を露出させ、減圧下において原子ビーム又は分子ビームを前記単結晶基板表面に対して 40° 以下の入射角度で入射させ、前記露出した単結晶基板表面上に単結晶薄膜を選択的にエピタキシャル成長させることを特徴とする、単結晶薄膜の形成方法である。

【0007】

本発明者は、気相成長法を用いたマイクロチャネルエピタキシーを可能にするべく鋭意検討した。その結果、減圧下において原子ビーム又は分子ビームの入射角

度を単結晶基板表面に対してある一定の範囲内に設定することにより、単結晶薄膜を構成する原子が非晶質薄膜に形成した開口部のみに堆積、エピタキシャル成長し、非晶質薄膜上には形成されないことを見いだした。これにより、開口部内に形成された単結晶薄膜を種としてエピタキシャル成長を続けることにより、マイクロチャネルエピタキシーによって、転位の極めて少ない単結晶薄膜を非晶質薄膜上に形成することに成功したものである。

【0008】

図1は、本発明の単結晶薄膜の形成方法を説明するための概念図である。

本発明の形成方法では、単結晶基板1上に酸化シリコンなどからなる非晶質薄膜2を形成する。次いで、非晶質薄膜2にエッチングなどによって幅Wを有する開口部3を形成し、単結晶基板1の一部を露出させる。開口部3は、紙面に垂直な方向において連続しており、単結晶基板1上において線状を呈している。

そして、本発明にしたがって、減圧下において、例えば分子ビームを単結晶基板1の表面1Aに対して 40° よりも小さい入射角度 θ で入射させる。すると、非晶質薄膜2に入射した分子ビーム6-1及び6-3は、この非晶質薄膜2上に堆積することなく矢印の方向に沿って反射される。一方、開口部3に入射した分子ビーム6-2の多くは、反射することなく単結晶基板1上に堆積してエピタキシャル成長する。したがって、開口部3においてのみ選択的にエピタキシャル成長が生じ、単結晶薄膜4を形成する。

【0009】

開口部3における選択的なエピタキシャル成長を継続させると、単結晶薄膜4は厚さを増し、図2に示すように非晶質薄膜2の膜厚より厚くなった種単結晶薄膜7を形成する。すると、図1の場合と同様に、非晶質薄膜2に入射する分子ビーム6-1及び6-3は、非晶質薄膜2上に堆積することなく反射される。一方、種単結晶薄膜7の上面7A及び側面7Bに入射した分子ビーム6-2の多く及び6-5のほとんどは反射されることなく、種単結晶薄膜7を種としてさらにエピタキシャル成長を続ける。

したがって、エピタキシャル成長は単結晶基板1の表面1Aに対して垂直な方向のみでなく、平行な方向へも発生する。その結果、図3に示すように、垂直方

向に成長してなる縦方向単結晶薄膜 8 と、非晶質薄膜 2 上において横方向に成長してなる横方向単結晶薄膜 9 とが形成される。

【0010】

このため、仮に単結晶基板 1 と単結晶薄膜 4 及び 7 との格子不整合や、単結晶基板 1 自体が本来的に有する転位によって、単結晶薄膜中に転位が発生したとしても、この転位は単結晶基板 1 の表面 1 A にある角度を持って上方に伝搬するので、横方向に伝搬することはない。したがって、図 3 に示す縦方向単結晶薄膜 8 中には単結晶基板 1 に起因する転位が存在する場合が生じるが、非晶質薄膜 2 上に形成された横方向単結晶薄膜 9 中には単結晶基板 1 に起因する転位は存在しない。したがって、転位の極めて少ない単結晶薄膜を気相成長法を用いたマイクロチャネルエピタキシー技術によって形成することができる。

【0011】

以上説明したように、本発明によれば気相成長法を用いたマイクロチャネルエピタキシーによって極めて転位の少ない単結晶薄膜を形成することができる。したがって、半導体工業などの現場で実際に使用することができ、集積回路などの実用に供することのできる単結晶薄膜の形成方法を提供することができる。

【0012】

【発明の実施の形態】

以下、本発明を発明の実施の形態に基づいて詳細に説明する。

本発明の形成方法では、単結晶基板上に非晶質薄膜を形成するとともに、この非晶質薄膜に開口部を形成して、単結晶基板の表面の一部を露出させることが必要である。

開口部の形状については特に限定されるものではない。しかしながら、開口部の形状は線状又は矩形状であることが好ましく、特には図 1 に示すように、線状であることが好ましい。これにより、図 2 に示すような種単結晶薄膜 7 を種として、図 3 に示すような横方向単結晶薄膜 9 を、非晶質薄膜 2 上に均一な成長速度で均一に形成することができる。

図 1 に示すような開口部 3 においては、その幅 W を 0.001~10 μm 、さらには 0.005~10 μm 、特には 0.005~1 μm に設定することが好ま

しい。これによって、分子ビーム 6-2 を効率よく開口部 3 中に入射させることができ、非晶質薄膜 2 上における横方向単結晶薄膜 9 の種となる種単結晶薄膜 7 を効率よく形成することができる。

また、開口部の形成方法についても特に限定されるものではなく、フォトリソグラフィや電子線リソグラフィ、及びエックス線リソグラフィなどの微細加工技術を用いて形成することができる。

【0013】

本発明で使用するこのできる単結晶基板としては、特に限定されるものでない。選択的にエピタキシャル成長させる単結晶薄膜の種類に応じていかなる種類の単結晶基板をも使用することができる。例えば、シリコン (Si) 単結晶基板、砒化ガリウム (GaAs) 単結晶基板、セレン化亜鉛 (ZnSe) 単結晶基板、サファイア単結晶基板などを挙げることができる。

【0014】

また、非晶質薄膜を構成する材料についても特に限定されるものではない。本発明の方法によって形成された単結晶薄膜及び単結晶基板を含むアセンブリの用途に応じて、以下なる材料をも使用することができる。

例えば、非晶質薄膜を酸化シリコン及び窒化シリコンなどの絶縁物で構成することにより、いわゆる SOI (Semiconductor on Insulator) 構造のアセンブリを形成することができる。したがって、電界効果型トランジスタ、ヘテロバイポーラトランジスタ、集積回路などへ応用することができる。

一方、タンタルなどの高融点金属で非晶質薄膜を構成することにより、金属を半導体中に埋め込んだ構造のアセンブリを形成することができる。したがって、超高速電子デバイスなどのへの応用が可能となる。

【0015】

本発明の形成方法は、減圧下において原子ビーム又は分子ビームを単結晶基板の表面に対して 40° 以下の入射角度で入射させることが必要である。また、前記入射角度の上限は 30° であることが好ましく、さらには 25° 、特に 20° であることが好ましい。これによって、開口部において露出した単結晶基板上に均一な成長速度で、均一な単結晶薄膜を選択的にエピタキシャル成長させるこ

とができる。

【0016】

入射角度の下限については、開口部中に単結晶薄膜をエピタキシャル成長することができれば、特に限定されない。しかしながら、例えば、図1に示すような線状の開口部3を有する非晶質薄膜2を単結晶基板1上に形成した場合においては、非晶質薄膜2の厚さdが一般に $0.001 \sim 2 \mu\text{m}$ であり、開口部3の幅Wが上述したように $0.001 \sim 10 \mu\text{m}$ である。したがって、開口部3中に分子ビーム6-2を入射させるためには、分子ビーム6-2の入射角度の下限を 5° にすることが好ましく、さらには 3° にすることが好ましい。

【0017】

また、原子ビーム又は分子ビームの区別は、単結晶薄膜の形成方法に依存して決定される。例えば、シリコン単結晶薄膜を形成する場合においては、超高真空分子線エピタキシャル成長装置を用い、シリコン原子ビームを単結晶基板上に照射して形成する。また、GaAs単結晶薄膜を形成する場合においては、分子線エピタキシー装置を用い、Ga原子ビームと As_2 又は As_4 分子ビームを単結晶基板上に照射して形成する。

さらに、減圧下の具体的な真空度についても特に限定されるものではなく、上述したような単結晶薄膜の形成方法に応じて決定される。例えば、超高真空分子線エピタキシャル成長装置を用いる場合においては、 $10^{-11} \sim 10^{-7} \text{ torr}$ 程度に減圧する。また、化学分子線エピタキシー装置を用いる場合は、 $10^{-9} \sim 10^{-3} \text{ torr}$ 程度に減圧する。

【0018】

本発明の形成方法は、あらゆる種類の単結晶薄膜の形成に対して用いることができる。例えば、シリコン単結晶薄膜や、GaAs単結晶薄膜、GaN単結晶薄膜、 $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{As}$ 単結晶薄膜などのIII-V族化合物半導体及び合金半導体、ZnSe単結晶薄膜、ZnS単結晶薄膜、CdTe単結晶薄膜などのII-VI族化合物半導体および合金半導体、YBCO (Y-Ba-Cu酸化物) などの酸化物単結晶薄膜の形成などに用いることができる。

【0019】

III-V族化合物半導体の形成は、例えば、分子線エピタキシー法又は減圧気相エピタキシー法によって行う。この場合、Ga、Al、及びInなどのIII族原子ビームや、 $\text{Ga}(\text{CH}_3)_3$ (TMG)、 $\text{Al}(\text{C}_2\text{H}_5)_3$ (TEAl)、及び $\text{In}(\text{CH}_3)_3$ (TMIn)などのIII族元素含有有機金属分子線、又は GaCl_3 、 AlCl_3 、及び InCl_3 などのIII族元素含有ハライド分子線などのIII族元素含有分子ビームと、 As_2 、 P_2 、及び Sb_4 などのV族分子ビームや、 $\text{As}(\text{CH}_3)_3$ (TMAAs)、 $\text{As}(\text{C}_2\text{H}_5)_3$ (TEAs)、及び $\text{P}(\text{CH}_3)_3$ (TMP)などのV族元素含有有機金属分子線、 AsH_3 、 PH_3 、及び NH_3 などのV族元素含有水素化物分子線、又は AsCl_3 、 PCl_3 、及び SbCl_3 などのV族元素含有ハライド分子線などのV族元素含有分子ビームとを、所定温度に加熱された単結晶基板上に照射し、互いの原子ビームあるいは分子ビームなどを反応させることによって形成する。

【0020】

この場合においては、本発明にしたがってIII族元素含有分子ビーム及びV族元素含有分子ビームなどを、それぞれ単結晶基板の表面に対して 40° 以下の入射角度で入射させることによって、非晶質薄膜の開口部にIII-V族化合物半導体の単結晶薄膜を選択的にエピタキシャル成長させて形成することもできる。

しかしながら、III-V族化合物半導体を形成する場合においては、V族分子ビームあるいはV族元素含有分子ビームの、単結晶基板の表面に対する入射角度を 40° 以下、好ましくは 30° 以下、さらに好ましくは 25° 以下、特に好ましくは 20° 以下にすることにより、III族原子ビームあるいはIII族元素含有分子ビームの入射角度を任意の値に設定しても、開口部中にIII-V族化合物半導体薄膜を形成することができる。この原因は、半導体薄膜を形成する際のV族分子線又はV族元素含有分子線が核形成を支配しているからである。

【0021】

同様に、II-VI族化合物半導体の形成は、例えば、分子線エピタキシー法又は減圧気相エピタキシー法によって行う。この場合、Zn、Cd、及びHgなどのII族原子ビームや、 $\text{Zn}(\text{CH}_3)_2$ 、 $\text{Zn}(\text{C}_2\text{H}_5)_2$ 及び $\text{Cd}(\text{CH}_3)_2$ などのII族元素含有有機金属分子線、又は ZnCl_2 、 CdCl_2 及び HgCl_2 などのII族元素含有ハライド分子線などのII族元素含有分子ビームと、V族分子ビームあるいはV族元素含有分子ビームを、それぞれ単結晶基板の表面に対して 40° 以下の入射角度で入射させることによって、非晶質薄膜の開口部にII-VI族化合物半導体の単結晶薄膜を選択的にエピタキシャル成長させて形成することもできる。

1_2 などのII族元素含有ハライド分子線などのII族元素含有分子ビームと、S、Se、及びTeなどのVI族原子ビームや、 $\text{Te}(\text{CH}_3)_2$ 、 $\text{Te}(\text{C}_2\text{H}_5)_2$ 、及び $\text{Se}(\text{CH}_3)_2$ などのVI族元素含有有機金属分子線などのVI族元素含有分子ビームとを、所定温度に加熱された単結晶基板上に照射し、互いの原子ビームあるいは分子ビームなどを反応させることによって形成する。

【0022】

この場合においても、本発明にしたがってII族元素含有分子ビーム及びVI族元素含有分子ビームなどを、それぞれ単結晶基板の表面に対して 40° 以下の入射角度で入射させることによって、非晶質薄膜の開口部にII-VI族化合物半導体の単結晶薄膜を選択的にエピタキシャル成長させて形成することもできる。

しかしながら、II-VI族化合物半導体を形成する場合においては、II族原子ビーム若しくはII族元素含有分子ビーム、又はVI族原子ビーム若しくはVI族元素含有分子ビームのいずれか一方を、単結晶基板の表面に対して 40° 以下、好ましくは 30° 以下、さらに好ましくは 25° 以下、特に好ましくは 20° 以下の入射角度で開口部中に入射させることにより、VI族元素含有分子ビームあるいはII族元素含有分子ビームなどの入射角度を任意の値に設定しても、開口部中にII-VI族化合物半導体薄膜を形成することができる。この原因は、II-VI族化合物半導体薄膜を形成する際に、II族元素又はVI族元素の一方が核形成を律速するからである。

【0023】

上記のようにして形成したIII-V族化合物半導体あるいはII-VI族化合物半導体からなる単結晶薄膜の場合においても、エピタキシャル成長を継続することによって、これらを種として横方向のエピタキシャル成長が生じる。したがって、図3に示すように、非晶質薄膜2上にIII-V族化合物半導体などからなる横方向単結晶薄膜9を形成することができる。

【0024】

本発明の形成方法にしたがって、非晶質薄膜上に形成した横方向単結晶薄膜の転位密度は、 10^4 個/ cm^2 以下であり、さらには 10^2 個/ cm^2 以下である。単結晶基板と単結晶薄膜との格子定数差が0.1～30%と比較的大きい範

囲にあっても、本発明の形成方法を実施することによって、上記低転位密度の単結晶薄膜を常に得ることができる。

【0025】

【実施例】

以下、本発明を実施例に則して具体的に説明する。

実施例 1

直径 50 mm、厚さ 0.5 mm のシリコン単結晶基板上に、プラズマ CVD により、シリコン酸化膜を厚さ 200 nm に形成した。次いで、フォトリソグラフィにより図 1 に示すような幅 1 μ m の線状の開口部を形成し、シリコン単結晶基板の表面を露出させた。

次いで、シリコン単結晶基板を加熱して酸化膜を除去した後、温度を 950℃ に保ち、ガスソース分子線エピタキシー装置によって SiH₄ 分子ビームを、シリコン単結晶基板の表面に対し、入射角度 20° で入射させた。すると、前記開口部中に選択的なエピタキシャル成長が生じ、単結晶薄膜が形成された。

かかる分子ビームの照射を継続させてエピタキシャル成長を続けたところ、単結晶薄膜の厚さがシリコン酸化膜の厚さよりも厚くなった時点で横方向のエピタキシャル成長が生じ、シリコン酸化膜上に単結晶薄膜が形成された。このシリコン酸化膜上に形成された単結晶薄膜の厚さは 0.2 μ m であった。

【0026】

この単結晶薄膜を高速反射電子線回折法によって調べたところ、シリコン単結晶からなることが判明した。また、この単結晶薄膜に化学エッチングを実施したところ、エッチピットの発生は見られなかった。さらに、透過型電子顕微鏡によって転位密度を調べたところ 10² 個/cm² 以下であった。

【0027】

実施例 2

超高真空分子線エピタキシャル成長装置によって、シリコン原子ビームを入射角度 10° で、シリコン単結晶基板上に入射させた以外は、実施例 1 と同様にして実施した。

シリコン酸化膜上に形成された単結晶薄膜の厚さは 0.2 μ m であった。また

、この単結晶薄膜を高速反射電子線回折によって調べたところ、シリコン単結晶からなることが判明した。さらに、この単結晶薄膜に化学エッチングを実施したところ、エッチピットの発生は見られなかった。また透過型電子顕微鏡によって転位密度を調べたところ 10^2 個/cm² 以下であった。

【0028】

実施例 3

シリコン酸化膜に代えて厚さ 20 nm の Ta 薄膜を形成した以外は、実施例 1 と同様にして実施した。

Ta 薄膜上に形成された単結晶薄膜の厚さは 0.2 μ m であった。また、この単結晶薄膜を高速反射電子線回折法によって調べたところ、シリコン単結晶からなることが判明した。さらに、この単結晶薄膜に化学エッチングを実施したところ、エッチピットの発生は見られなかった。また透過型電子顕微鏡によって転位密度を調べたところ 10^2 個/cm² 以下であった。

【0029】

実施例 4

シリコン酸化膜に代えて厚さ 20 nm の Ta 薄膜を形成した以外は、実施例 2 と同様にして実施した。

Ta 薄膜上に形成された単結晶薄膜の厚さは 0.2 μ m であった。また、この単結晶薄膜を高速反射電子線回折法によって調べたところ、シリコン単結晶からなることが判明した。さらに、この単結晶薄膜に化学エッチングを実施したところ、エッチピットの発生は見られなかった。また透過型電子顕微鏡によって転位密度を調べたところ 10^2 個/cm² 以下であった。

【0030】

実施例 5

直径 50 mm、厚さ 0.5 mm の GaAs 単結晶基板上に、プラズマ CVD によってシリコン酸化膜を厚さ 200 nm に形成した。次いで、実施例 1 と同様にして幅 1 μ m の線状の開口部を形成した。

次いで、この単結晶基板を分子線エピタキシー装置に入れ、GaAs 単結晶基板を 610℃ に加熱するとともに、As₄ 分子ビーム及び Ga 原子ビームを、そ

れぞれ入射角度 20° 及び 40° で前記開口部に入射させた。すると、前記開口部中に選択的なエピタキシャル成長が生じ、単結晶薄膜が形成された。

かかる分子線ビームの照射を継続させてエピタキシャル成長を続けたところ、単結晶薄膜の厚さがシリコン酸化膜の厚さよりも厚くなった時点で横方向のエピタキシャル成長が生じ、シリコン酸化膜上に単結晶薄膜が形成された。このシリコン酸化膜上に形成された単結晶薄膜の厚さは $0.5 \mu\text{m}$ であった。

【0031】

この単結晶薄膜を高速反射電子線回折によって調べたところ、GaAs 単結晶からなることが判明した。また、この単結晶薄膜に化学エッチングを実施したところ、エッチピットの発生は見られなかった。さらに、透過型電子顕微鏡によって転位密度を調べたところ 10^2 個/ cm^2 以下であった。

【0032】

実施例 6

直径 50 mm 、厚さ 0.5 mm のシリコン単結晶基板を用い、開口部内に単結晶薄膜を形成する以前に前記単結晶基板を 1000°C に加熱して、基板表面の自然酸化膜を除去した以外は、実施例 5 と同様にして実施した。

シリコン酸化膜上に形成された単結晶薄膜の厚さは $0.5 \mu\text{m}$ であった。また、この単結晶薄膜を高速反射電子線回折法によって調べたところ、GaAs 単結晶からなることが判明した。さらに、この単結晶薄膜に化学エッチングを実施したところ、エッチピットの発生は見られなかった。また、透過型電子顕微鏡によって転位密度を調べたところ 10^2 個/ cm^2 以下であった。

【0033】

実施例 7

面積 1 cm^2 、厚さ 0.5 mm の ZnSe 単結晶基板を用い、この基板上にプラズマ CVD によって厚さ 200 nm のシリコン酸化膜を形成した。次いで、実施例 1 と同様にして幅 $1 \mu\text{m}$ の線状の開口部を形成し、前記基板表面を露出させた。

次いで、この単結晶基板を分子線エピタキシー装置に入れ、ZnSe 単結晶基板を 500°C に加熱するとともに、Se 原子ビーム及び Zn 原子ビームを、それ

ぞれ入射角度 20° 及び 30° で前記開口部に入射させた。すると、前記開口部中に選択的なエピタキシャル成長が生じ、単結晶薄膜が形成された。

かかる原子ビームの照射を継続させてエピタキシャル成長を続けたところ、単結晶薄膜の厚さがシリコン酸化膜の厚さよりも厚くなった時点で横方向のエピタキシャル成長が生じ、シリコン酸化膜上に単結晶薄膜が形成された。このシリコン酸化膜上に形成された単結晶薄膜の厚さは $0.2 \mu\text{m}$ であった。

【0034】

この単結晶薄膜を高速反射電子線回折法によって調べたところ、 ZnSe 単結晶からなることが判明した。また、この単結晶薄膜に化学エッチングを実施したところ、エッチピットの発生は見られなかった。さらに、透過型電子顕微鏡によって転位密度を調べたところ 10^2 個/ cm^2 以下であった。

実施例 8

面積 1 cm^2 、厚さ 0.5 mm の SrTiO_3 基板を用い、この基板の上にプラズマ CVD によって厚さ 200 nm のシリコン酸化膜を形成した。次いで、実施例 1 と同様にして幅 $1 \mu\text{m}$ の線状の開口部を形成し、前記 SrTiO_3 基板の表面を露出させた。

次いで、 SrTiO_3 基板を 800°C に加熱した。その後、 Y 、 Ba 、 Cu の原子ビームを、それぞれ入射角度 20° で開口部に入射させるとともに、オゾンを含む酸素分子ビームを入射角度 30° で同じ開口部内に入射させた。すると、前記開口部中に選択的なエピタキシャル成長が生じ、単結晶薄膜が形成された。

かかる原子ビーム及び分子ビームの照射を継続させてエピタキシャル成長を続けたところ、単結晶薄膜の厚さがシリコン酸化膜の厚さよりも厚くなった時点で横方向のエピタキシャル成長が生じ、シリコン酸化膜上に単結晶薄膜が形成された。このシリコン酸化膜上に形成された単結晶薄膜の厚さは $0.2 \mu\text{m}$ であった。

【0035】

この単結晶薄膜を高速反射電子線回折によって調べたところ、 YBCO 単結晶からなることが判明した。また、この単結晶薄膜に化学エッチングを実施したと

ころ、エッチピットの発生は見られなかった。さらに、透過型電子顕微鏡によって転位密度を調べたところ $10 \text{ 個} / \text{cm}^2$ 以下であった。

【0036】

以上、実施例から明らかなように、本発明の形成方法によれば、シリコン酸化膜あるいはTa薄膜などの非晶質薄膜上に、転位密度が $10^2 \text{ 個} / \text{cm}^2$ 以下程度の極めて転位の少ない単結晶薄膜を形成できることが分かる。

【0037】

以上、具体例を挙げながら発明の実施の形態に基づいて本発明を詳細に説明してきたが、本発明は上記内容に限定されるものではなく、本発明の範疇を逸脱しない限りにおいてあらゆる変更や変形が可能である。

【0038】

【発明の効果】

本発明の形成方法によれば、所定の開口部のみに単結晶薄膜を選択的に形成することが可能である。したがって、かかる部分に形成された単結晶薄膜を種とすることにより、気相成長法によりマイクロチャネルエピタキシーが可能となる。この結果、実際の半導体工業などにおいて使用することができ、集積回路や電子素子、及び光素子などの実用に供することのできる転位の少ない単結晶薄膜の形成方法を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の単結晶薄膜の形成方法を説明するための概念図である。

【図2】 本発明の単結晶薄膜の形成方法において、図1に示す後の形成工程を説明するための概念図である。

【図3】 本発明の単結晶薄膜の形成方法において、図2に示す後の形成工程を説明するための概念図である。

【符号の説明】

- 1 単結晶基板
- 2 非晶質薄膜
- 3 開口部
- 4 単結晶薄膜

6 - 1、6 - 2、6 - 3、6 - 4、6 - 5 分子ビーム

7 種単結晶薄膜

8 縦方向単結晶薄膜

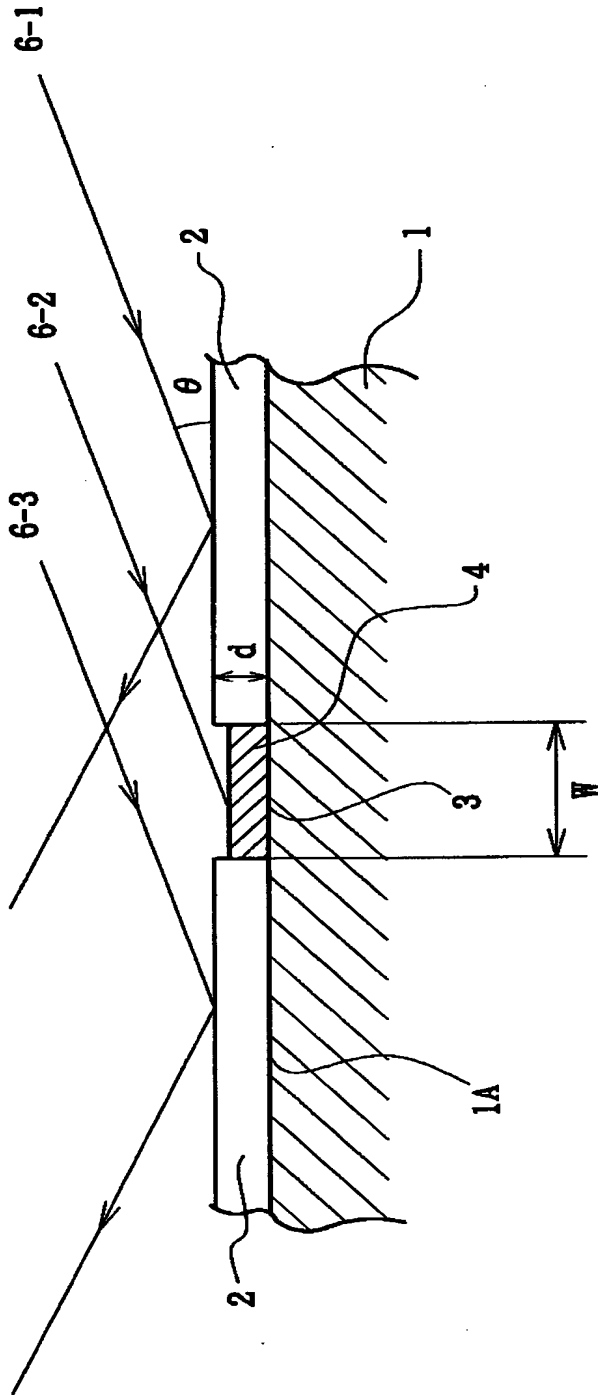
9 横方向単結晶薄膜

θ 分子ビームの単結晶基板表面に対する入射角度

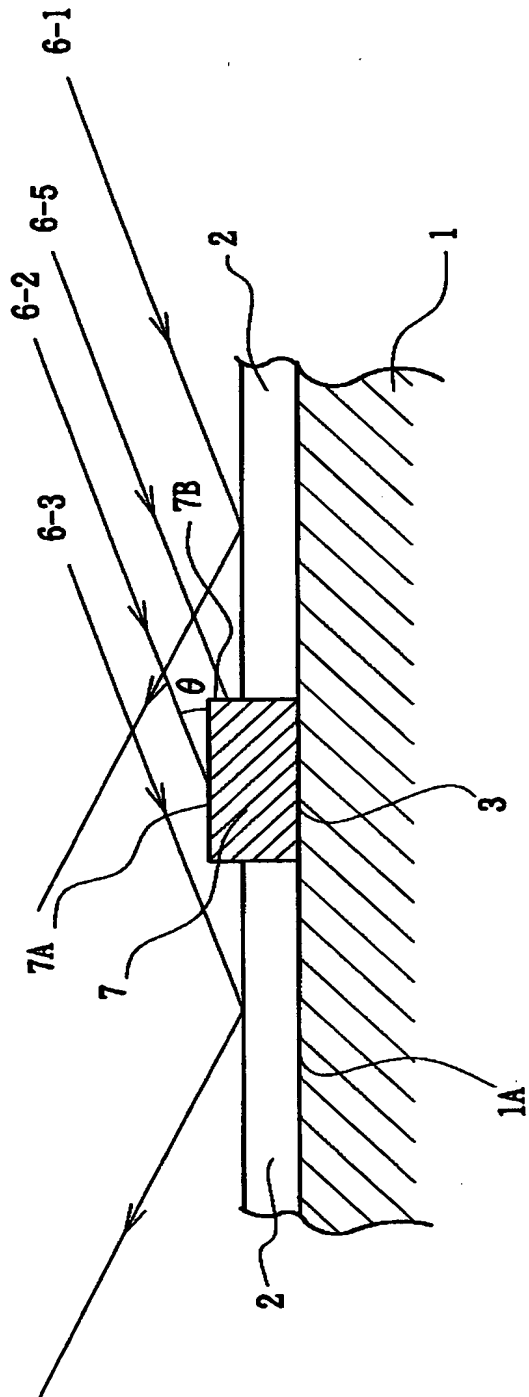
W 開口部の幅

【書類名】 図面

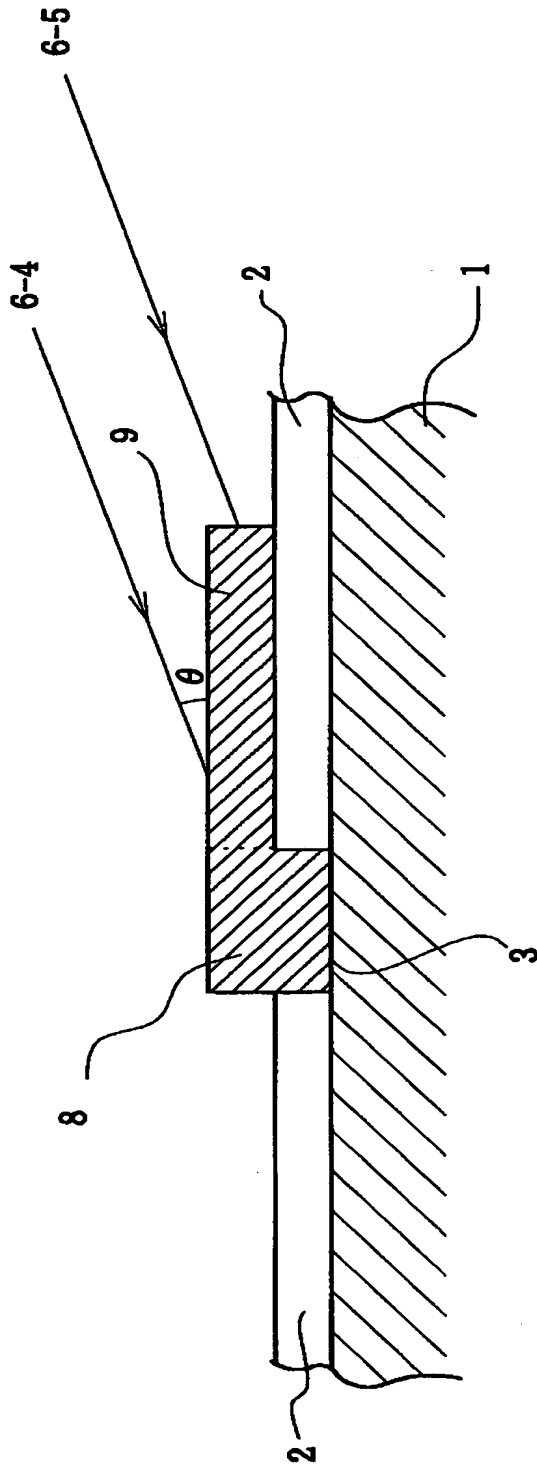
【図 1】



【図 2】



【図3】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 気相成長法を用いたマイクロチャネルエピタキシー技術によって、非晶質膜上に単結晶薄膜を形成する新たな方法を提供する。

【解決手段】 単結晶基板 1 上に非晶質薄膜 2 を形成する。次いで、エッチングによって非晶質薄膜 2 に線状の開口部 3 を形成し、単結晶基板 1 の表面を露出させる。次いで、減圧下において、分子ビーム 6-2 を単結晶基板 1 の表面 1 A に対して 40° 以下の入射角度で開口部 3 に入射させ、開口部 3 の前記露出した単結晶基板表面上に単結晶薄膜 4 を選択的にエピタキシャル成長させる。その後、縦方向単結晶薄膜 8 を成長させるとともに、非晶質薄膜 2 上において横方向に成長してなる横方向単結晶薄膜 9 を形成する。

【選択図】 図 3

認定・付加情報

特許出願の番号	平成11年 特許願 第052376号
受付番号	59900180000
書類名	特許願
担当官	第五担当上席 0094
作成日	平成11年 3月 8日

<認定情報・付加情報>

【特許出願人】

【識別番号】	391012327
【住所又は居所】	東京都文京区本郷7丁目3番1号
【氏名又は名称】	東京大学長

【代理人】

申請人

【識別番号】	100059258
【住所又は居所】	東京都千代田区霞が関3-2-4 霞山ビル7階
【氏名又は名称】	杉村 暁秀

【選任した代理人】

【識別番号】	100072051
【住所又は居所】	東京都千代田区霞が関3-2-4 霞山ビル7階
【氏名又は名称】	杉村 興作

【選任した代理人】

【識別番号】	100098383
【住所又は居所】	東京都千代田区霞が関3丁目2番4号 霞山ビル ディング7階 杉村萬國特許事務所内
【氏名又は名称】	杉村 純子

【選任した代理人】

【識別番号】	100101096
【住所又は居所】	東京都千代田区霞が関3丁目2番4号 杉村萬國 特許事務所内
【氏名又は名称】	徳永 博

【選任した代理人】

【識別番号】	100100125
【住所又は居所】	東京都千代田区霞が関3丁目2番4号 杉村萬國 特許事務所内
【氏名又は名称】	高見 和明

【選任した代理人】

次頁有

認定・付加情報（続き）

【識別番号】	100073313
【住所又は居所】	東京都千代田区霞が関 3 - 2 - 4 杉村特許事務所内
【氏名又は名称】	梅本 政夫
【選任した代理人】	
【識別番号】	100097504
【住所又は居所】	東京都千代田区霞が関 3 丁目 2 番 4 号 霞山ビルディング 7 階 杉村萬國特許事務所内
【氏名又は名称】	青木 純雄
【選任した代理人】	
【識別番号】	100102886
【住所又は居所】	東京都千代田区霞が関 3 丁目 2 番 4 号 霞山ビルディング 7 階 杉村萬國特許事務所内
【氏名又は名称】	中谷 光夫
【選任した代理人】	
【識別番号】	100107227
【住所又は居所】	東京都千代田区霞が関 3 丁目 2 番 4 号 霞山ビルディング 7 階 杉村萬國特許事務所内
【氏名又は名称】	藤谷 史朗

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [391012327]

1. 変更年月日	1991年 1月22日
[変更理由]	新規登録
住 所	東京都文京区本郷7丁目3番1号
氏 名	東京大学長